

# 基于改进直流潮流的内嵌网损经济调度

袁亚云, 王磊

(东南大学电气工程学院, 江苏南京 210096)

**摘要:** 新能源的大规模接入使得精细考虑网损对电力系统调度更为重要。介绍了一种改进直流潮流计算方法, 比较了其与传统直流潮流计算的优劣性, 并提出了基于改进直流潮流的内嵌网损经济调度模型, 在保留直流潮流收敛优势的同时, 其精确度得到了很大提升。最终对 IEEE30、IEEE118 等节点系统进行测试, 验证了该经济调度模型的精确性和收敛性。

**关键词:** 改进直流潮流; 网损; 调度

**中图分类号:** TM73

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-0665(2015)01-0001-05

电力系统实际运行中网损占总负荷的 1%~2%, 经济调度中计及网损极其重要。目前部分经济调度并不考虑网损影响<sup>[1]</sup>, 只计及网络安全对调度的影响; 文献[2,3]只是依据历史数据计算静态网损或使用 B 系数法<sup>[4]</sup>, 当网损变化较小, 能满足一定精度, 但全天多时段计划潮流的网损变化量相当大, 该方法会出现很大误差<sup>[5]</sup>, 目前大规模新能源接入并不适用, 因此精细考虑网损是决定调度结果的重要因素。电网网损的分布与潮流关系密切, 而潮流计算分为交流潮流和直流潮流, 由于交流潮流运用于经济调度中容易产生不易收敛等问题<sup>[6]</sup>, 目前绝大部分文献均是针对直流潮流进行改进来提高系统调度的精确性。文献[7]提出了交流直流混合迭代思想, 其直流最优潮流模型分配有功功率, 交流模型计算潮流和网损, 通过迭代求解实现调度, 但该方法只将网损作为系统功率平衡约束进行分配, 未考虑网损分布于不同支路对调度产生的影响。文献[8-10]均是基于直流潮流通过一定的循环迭代获得调度结果, 虽然在一定程度上提高了调度模型的精确性, 但效率有待改进。针对文献[11]提出的内嵌网损经济调度进行了改进, 从而进一步提高了调度模型的精确性, 同时也保证了系统调度模型的效率。

## 1 潮流模型

### 1.1 计及电阻的改进直流潮流

文中对传统直流潮流进行一定修正以便于更加精确计及网损的影响。图 1 为简略两节点系统, 图中  $U_i, U_j$  分别为节点  $i, j$  的电压相量值;  $r_{ij}, x_{ij}$  分别为节点  $i, j$  之间线路的电阻和电抗;  $S_{ij}$  为线路  $ij$  的潮流相量值。

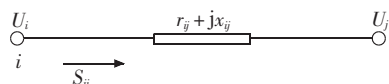


图 1 两节点简略系统

$$S_{ij} = U_i \cdot I_{ij}^* = U_i \cdot \left( \frac{U_i - U_j}{r_{ij} + jx_{ij}} \right)^* = \frac{U_i^2 - U_i \cdot U_j^*}{r_{ij} - jx_{ij}} \quad (1)$$

其中,  $U_i = V_i \angle \theta_i, U_j = V_j \angle \theta_j$ , 得出:

$$S_{ij} = \frac{V_i^2 - V_i V_j \angle \theta_{ij}}{r_{ij} - jx_{ij}} \quad (2)$$

式中:  $V_i, V_j$  分别为节点  $i, j$  的电压幅值;  $\theta_i, \theta_j$  分别为节点  $i, j$  的电压相角。忽略系统电压的影响, 即  $V_i = V_j = 1$ , 则:

$$S_{ij} = \frac{1 - \angle \theta_{ij}}{r_{ij} - jx_{ij}} = \frac{1 - (\cos \theta_{ij} + j \sin \theta_{ij})}{r_{ij} - jx_{ij}} \quad (3)$$

系统节点之间相角差相差不大,  $\theta_{ij} \approx 0$ , 则:

$$\cos \theta_{ij} \approx 1; \sin \theta_{ij} \approx \theta_{ij} \quad (4)$$

所以:

$$S_{ij} = \frac{-j \theta_{ij}}{r_{ij} - jx_{ij}} = \frac{-j \theta_{ij} \cdot (r_{ij} + jx_{ij})}{r_{ij} + x_{ij}} = \frac{x_{ij} \theta_{ij}}{r_{ij} + x_{ij}} - j \frac{r_{ij} \theta_{ij}}{r_{ij} + x_{ij}} \quad (5)$$

从而得出有功潮流  $P_{ij}$  为:

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{r_{ij} + x_{ij}} (\theta_i - \theta_j) \quad (6)$$

式(6)为计及电阻的改进直流潮流表达式, 表示节点  $i, j$  之间的潮流与两节点的相角差以及两节点间的线路阻抗相关, 与系统电压等无关。但还需通过对比较验证该模型的精确性。

### 1.2 潮流模型分析

以交流潮流  $P_{ij}^{AC}$  为参考, 将文中所提直流功率  $P_{ij}$  和传统直流功率  $P_{ij}^{DC}$  分别与其比较; 其中直流潮流选取文献[12], 交流潮流取自文献[13], 对两者误分析判断 2 种直流潮流求解方式的精确性。  $P_{ij}$  与  $P_{ij}^{AC}$  之间的误差表达式为:

$$P_{ij}^{AC} - P_{ij} = V_i^2 \frac{r_{ij}}{r_{ij} + x_{ij}} - V_i V_j \left( \frac{r_{ij}}{r_{ij} + x_{ij}} \cos \theta_{ij} - \frac{x_{ij}}{r_{ij} + x_{ij}} \sin \theta_{ij} \right) - \frac{x_{ij}}{r_{ij} + x_{ij}} (\theta_i - \theta_j) = \frac{r_{ij}}{r_{ij} + x_{ij}} (V_i^2 - V_i V_j \cos \theta_{ij}) + \frac{x_{ij}}{r_{ij} + x_{ij}} (V_i V_j \sin \theta_{ij} - \theta_{ij}) \quad (7)$$

$P_{ij}^{DC}$  与  $P_{ij}^{AC}$  之间的误差表达式为:

$$P_{ij}^{AC} - P_{ij}^{DC} = V_i^2 \frac{r_{ij}}{2} \frac{r_{ij}}{2} - V_i V_j \left( \frac{r_{ij}}{2} \frac{r_{ij}}{2} \cos\theta_{ij} - \frac{x_{ij}}{2} \frac{x_{ij}}{2} \sin\theta_{ij} \right) - \frac{\theta_i - \theta_j}{x_{ij}} \frac{r_{ij}}{r_{ij} + x_{ij}} (V_i^2 - V_i V_j \cos\theta_{ij}) + \frac{x_{ij}}{2} \frac{x_{ij}}{2} (V_i V_j \sin\theta_{ij} - \theta_{ij}) + \left( \frac{-r_{ij}}{2} \frac{r_{ij}}{2} \right) \theta_{ij} \quad (8)$$

从式(7)、(8)比较看出,2种直流潮流与交流潮流的误差主要区别为式(8)的最后一项,所以当 $\theta_{ij} > 0$ 时,传统直流潮流更精确;当 $\theta_{ij} < 0$ 时,文中提出的改进直流潮流更精确。故文中提出了基于计及电阻的改进直流潮流模型经济调度方式,既计及系统电阻和节点相角的影响,又保持了直流潮流求解的优越性。

## 2 经济优化调度模型

文献[11]在传统直流调度模型的基础上,考虑了系统各节点相角对潮流的影响,文中提出了下述优化模型。

模型的目标函数:

$$F = \sum_{k=1}^{N_G} C_k(P_k) \quad (9)$$

式中: $C_k(P_k)$ 为机组 $k$ 的有功成本函数, $N_G$ 为机组数。模型约束条件如下。

(1) 节点功率平衡:

$$\sum_{k \in \Psi_i} P_k - \sum_{j \in \Phi_i} P_{l(i-j)} - \sum_{s \in L_i} D_s = 0 \quad i=1,2,\dots,N_B \quad (10)$$

式中: $P_k$ 为机组 $k$ 的出力; $P_{l(i-j)}$ 为节点 $i$ 流向节点 $j$ 的功率; $\Psi_i$ 为连接到节点 $i$ 的发电机编号集合; $\Phi_i$ 为连接到节点 $i$ 的线路的另一端节点集合; $L_i$ 为连接到节点的负荷编号集合; $D_s$ 为负荷 $s$ 消耗有功功率; $N_B$ 为系统节点数。

(2) 发电机上下限出力:

$$P_{k,\min} \leq P_k \leq P_{k,\max} \quad k=1,2,\dots,N_G \quad (11)$$

式中: $P_{k,\min}$ ,  $P_{k,\max}$ 分别为机组 $k$ 的最小、最大出力。

(3) 直流潮流方程:

$$\frac{P_{l(i-j)} - P_{l(j-i)}}{2} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{2} \frac{x_{ij}}{2} (\theta_i - \theta_j) & \theta_i - \theta_j \leq 0 \\ \frac{1}{x_{ij}} (\theta_i - \theta_j) & \text{其他} \end{cases} \quad (12)$$

式中: $P_{l(i-j)}$ 为节点 $j$ 流向节点 $i$ 的功率。

(4) 网络安全约束:

$$P_{l(i-j)} \leq \frac{P_{l(i-j)} - P_{l(j-i)}}{2} \leq \bar{P}_{l(i-j)} \quad l=1,2,\dots,N_L \quad (13)$$

式中: $P_{l(i-j)}$ ,  $\bar{P}_{l(i-j)}$ 分别为节点 $i, j$ 之间的最小、最大功

率传输值; $N_L$ 为系统线路总数。

(5) 网损约束:

$$S_{l(i-j)} = P_{l(i-j)} + P_{l(j-i)} \quad l=1,2,\dots,N_L \quad (14)$$

$$S_{l(i-j)} \geq g_{ij} (\theta_i - \theta_j)^2 \quad l=1,2,\dots,N_L \quad (15)$$

式中: $S_{l(i-j)}$ 为线路 $i, j$ 之间的网损。

(6) 平衡节点相角约束:

$$\theta_{\text{slack}} = 0 \quad (16)$$

式中: $\theta_{\text{slack}}$ 为平衡节点相角。该模型通过下述迭代来实现。具体步骤为:

(1) 利用文献[10]模型优化计算相应线路相角差;

(2) 利用上次优化调度的结果,根据式(12)对相应线路采用不同直流潮流方程,并利用该模型调度;

(3) 比较2次结果相角差的正负情况是否相同,若不相同,转置步骤(2);若相同,输出结果。

该模型为基于直流潮流改进所得到的优化模型,且采用内嵌考虑网损思想,与文献[7-10]的方法相比,无需通过迭代实现网损优化,所以不存在收敛性问题。

## 3 基于 Benders 分解的改进内嵌网损调度

公式(9—16)所表示的模型为不考虑机组启停状态的单时段经济优化模型,将其扩展至一个调度周期,该模型为一混合整数二次规划问题。由于目前一般优化软件难以求解或求解时间较长,因此提出基于 Benders 分解的调度模式,具体步骤如图2所示。其中,主问题不考虑网络实现系统的机组组合优化,为混合整数线性规划;从问题实现计及电阻改进直流潮流的内嵌网损调度模型,并对系统网络安全校验,为无整数的二次约束规划。从问题基于主问题机组组合结果优化,同时引入非负松弛量来保证优化有结果,此松弛量表示系统越限状态,若线路越限,则产生 Benders cut,并修改主问题的目标函数,返回至主问题重新优化,直至系统不再出现越限情况。

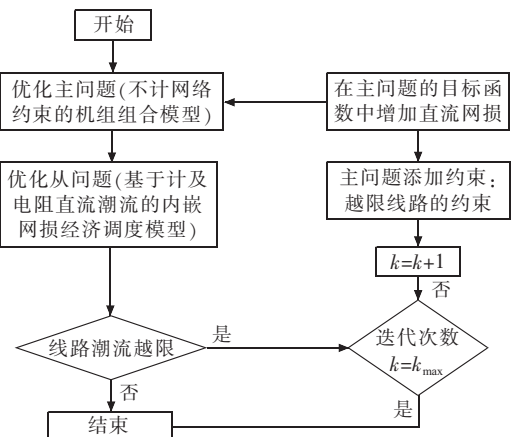


图2 基于 benders 分解内嵌网损调度模型求解流程

### 3.1 主问题

主问题目标函数:

$$\min F = \sum_{t=1}^{N_T} \sum_{k=1}^{N_G} [(a_k P_{k,t}^2 + b_k P_{k,t} + c_k u_{k,t}) + B(1 - e^{-T_{k,0}/\tau})] \quad (17)$$

式中: $P_{k,t}$ 为 $k$ 机组 $t$ 时刻的出力; $u_{k,t}$ 为机组 $k$ 时刻的启停状态; $N_T$ 为调度时段总数。公式后一项表示机组的启停费用。约束条如下。

(1) 功率平衡约束:

$$\sum_{k=1}^{N_G} u_{k,t} P_{k,t} = D_t \quad t=1, 2, \dots, N_T \quad (18)$$

式中: $D_t$ 为系统 $t$ 时的等效总负荷。

(2) 备用容量约束:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^{N_G} (P_{k,\max} - P_{k,t}) > R_t^u & t=1, 2, \dots, N_T \\ \sum_{k=1}^{N_G} (P_{k,\min} - P_{k,t}) > -R_t^l & t=1, 2, \dots, N_T \end{cases} \quad (19)$$

式中: $R_t^u, R_t^l$ 分别为 $t$ 时系统的上备用和下备用容量。

(3) 机组出力约束:

$$u_{k,t} P_{k,\min} \leq P_{k,t} \leq u_{k,t} P_{k,\max} \quad k=1, 2, \dots, N_G; t=1, 2, \dots, N_T \quad (20)$$

(4) 爬坡速率约束:

$$-r_k^d \Delta T \leq P_{k,t} - P_{k,t-1} \leq r_k^u \Delta T \quad k=1, 2, \dots, N_G; t=1, 2, \dots, N_T \quad (21)$$

式中: $r_k^d, r_k^u$ 分别为机组 $k$ 每分钟最大滑坡速率和爬坡速率; $\Delta T$ 为相邻时段的时间长度,以小时计。

(5) 最小开停机时间约束:

$$u_{k,t} = \begin{cases} 1 & 1 \leq \tau_{i^+} \leq T_{i^+} \\ 0 & -T_{i^-} \leq \tau_{i^-} \leq -1 \\ 0 \text{ 或 } 1 & \text{其他} \end{cases} \quad k=1, 2, \dots, N_G; t=1, 2, \dots, N_T \quad (22)$$

### 3.2 从问题

从问题基于主问题机组组合结果,对系统进行网络校验。所以在同一迭代中,从问题的机组组合与主问题一致,为已知量。

目标函数:

$$\min f = \sum_{t=1}^{N_T} \left[ \sum_{k=1}^{N_G} (a_k P_{k,t}^2 + b_k P_{k,t} + c_k \widehat{u}_{k,t}) + \alpha \sum_{l=1}^{N_L} s_{l,t} \right] \quad (23)$$

式中: $\alpha$ 为网络越限的惩罚因子; $s_{l,t}$ 为松弛变量,用来保证从问题在主问题机组组合场景下可获得优化结果; $\widehat{u}_{k,t}$ 为主问题所得的机组组合。约束条件如下。

(1) 节点功率平衡:

$$\sum_{k \in \Phi_i} P_{k,t} - \sum_{j \in \Phi_i} P_{l(i-j),t} - \sum_{s \in L_i} D_{s,t} = 0$$

$$i=1, 2, \dots, N_B; t=1, 2, \dots, N_T \quad (24)$$

式中: $D_{s,t}$ 为负荷 $s$ 时刻 $t$ 消耗的等效有功功率。

(2) 发电机上下限出力:

$$\widehat{u}_{k,t} P_{k,\min} \leq P_{k,t} \leq \widehat{u}_{k,t} P_{k,\max} \quad k=1, 2, \dots, N_G; t=1, 2, \dots, N_T \quad (25)$$

(3) 爬坡速率约束:

$$-r_k^d \Delta T \leq P_{k,t} - P_{k,t-1} \leq r_k^u \Delta T \quad k=1, 2, \dots, N_G; t=1, 2, \dots, N_T \quad (26)$$

(4) 直流潮流方程:

$$\frac{P_{l(i-j),t} - P_{l(j-i),t}}{2} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{2} (\theta_{i,t} - \theta_{j,t}) & \theta_{i,t} - \theta_{j,t} \leq 0 \\ r_{ij} + x_{ij} & \\ \frac{1}{x_{ij}} (\theta_{i,t} - \theta_{j,t}) & \text{其他} \end{cases} \quad (27)$$

(5) 网损约束:

$$S_{l(i-j),t} = P_{l(i-j),t} + P_{l(j-i),t} \quad l=1, 2, \dots, N_L; t=1, 2, \dots, N_T \quad (28)$$

$$S_{l(i-j),t} \geq g_{i-j} (\theta_{i,t} - \theta_{j,t})^2 \quad l=1, 2, \dots, N_L; t=1, 2, \dots, N_T \quad (29)$$

式中: $S_{l(i-j)}$ 为 $t$ 时段线路 $i, j$ 之间的网损。

(6) 平衡节点相角约束:

$$\theta_{\text{slack},t} = 0 \quad (30)$$

(7) 网络安全约束:

$$\frac{P_{l(i-j),t} - P_{l(j-i),t}}{2} \leq P_{l(i-j),t}^{\max} + s_{l,t} \quad l=1, 2, \dots, N_L; t=1, 2, \dots, N_T \quad (31)$$

$$s_{l,t} \geq 0 \quad l=1, 2, \dots, N_L; t=1, 2, \dots, N_T \quad (32)$$

### 3.3 主从问题的协调

(1) 若 $s_{l,t}$ 均为0,则无越限情况,得出最优结果;

(2) 若 $s_{l,t} > 0$ ,即主问题和从问题的机组组合不同,需要转至主问题进行迭代。迭代所生成的 benders 割为:

$$w_{l,t} = s_{l,t} + \sum_{k=1}^{N_G} \lambda_{k,t}^n P_{k,\max} (u^{n+1} - u^n) \quad t=1, 2, \dots, N_T \quad (33)$$

式中: $\lambda_{k,t}^n$ 为第 $n$ 次迭代中机组 $k$ 增加单位出力时,线路 $l$ 所发生的变化量; $u^n, u^{n+1}$ 分别为第 $n$ 次、第 $(n+1)$ 次迭代的机组组合。在主问题中,添加:

$$w_{l,t} \leq 0 \quad (34)$$

一般 Benders 分解在主从问题迭代时并不对主问题目标函数进行修正。为更好地实现主从问题协调,对主问题目标函数进行修改,既考虑机组经济性,又能保证主问题寻优时考虑网损的影响,使系统从问题获得最优结果。

$$\min F = \sum_{t=1}^{N_T} \left[ \sum_{k=1}^{N_G} (a_k P_{k,t}^2 + b_k P_{k,t} + c_k u_{k,t}) + B(1 - e^{-T_{k,0}/\tau}) \right] + \alpha_t (D_{\text{GSDF}} P_t)^T \text{diag}(R) (D_{\text{GSDF}} P_t) \quad (35)$$

在主问题目标函数中,增加一项近似表示各线路网损大小,其中 $\alpha_t$ 为 $t$ 时段的网损平均成本, $D_{\text{GSDF}}$ 为系统直流潮流中的发电转移因子, $P_t$ 为时段 $t$ 各节点的注入功率, $R$ 为各线路的电阻。

## 4 算例分析

### 4.1 网损计算精确性比较

文中算例基于MATPOWER中的IEEE30以及IEEE118节点系统<sup>[14]</sup>对系统成本和网损优化结果进行分析比较。对直流潮流<sup>[15]</sup>(算法1)、交流最优潮流算法<sup>[14]</sup>(算法2)、交直流迭代算法<sup>[7]</sup>(算法3)、基于静态网损修正的交直流迭代算法(算法4)、文献[11]方法(算法5)以及文中算法结果进行了比较分析,如表1所示。算法1不计及网损影响,其结果与其他算法相差很大;算法3未考虑各机组对网损影响,系统网损及发电成本明显偏高;算法4采用静态网损修正策略,出现网损过渡修正问题。

表1 不同模型成本和网损结果

模型	IEEE30 测试系统		IEEE118 测试系统	
	发电机成本 /USD	网损 /MW	发电机成本 /USD	网损 /MW
算法1	8 481.90	0	125 947.9	0
算法2	8 906.14	11.74	129 660.0	77.38
算法3	9 035.28	17.53	130 579.2	116.81
算法4	8 921.80	10.49	130 194.8	69.42
算法5	8 903.01	10.85	129 695.6	78.21
文中算法	8 905.07	10.96	129 681.3	78.14

综上,算法1和算法3网损和发电成本误差均很大,精确性不足;算法4网损误差虽不大,但网损较小时,系统发电成本却高于交流潮流,其结果与实际相悖;文中算法与算法5的网损和发电成本均接近交流潮流,且文中算法精度更优,所以文中算法精确度最优。

### 4.2 日前调度模型分析

该算例基于MATPOWER中的30节点系统<sup>[13]</sup>以及某一地区24h负荷进行调度研究,通过2次迭代循环达到最优结果。其中机组1和机组4在3次循环中的机组组出力如图3、图4所示。

在模型循环迭代过程中,机组1至3启停状态一样,但出力均发生变化;机组4至6的启停状态发生变化。所以不计及网络约束所得的机组组合在计及网损调度中并不是最优组合,其机组组合会导致系统网络出现越限,或者使计及网损的经济成本不是最优。

此外,文中模型对主问题目标函数进行了一定修

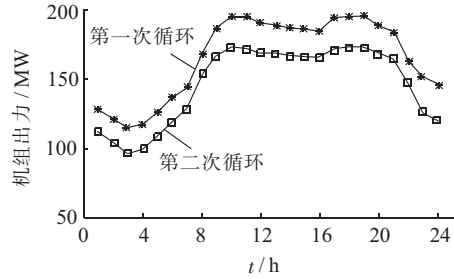


图3 机组1在不同循环下的机组出力

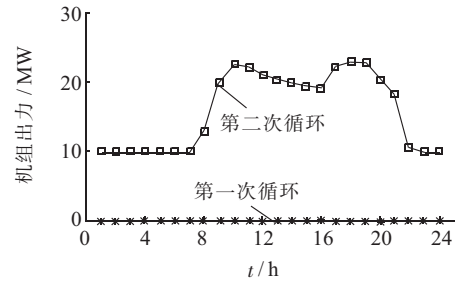


图4 机组4在不同循环下的机组出力

正,保证系统计及网损之后系统成本及网损最优。将主问题目标函数未修改模型(模型1)和文中模型进行分析比较(如表2所示)。可见,文中模型得出的调度结果更加经济;系统总成本更优,系统总网损也相对减少。

表2 各模型机组出力成本和总网损

模型	机组出力成本 /USD	网损 /MW
模型1	15900.22	226.77
文中模型	15859.78	207.04

由于模型1中主问题并未考虑网损对其优化调度的影响,导致模型1网损迭代终止值大于文中模型,所以文中模型对主问题的目标函数修正能够使主问题更好地在网损方面协调优化,寻找更小的网损和发电成本。从表2中看出,模型1网损值大于文中模型网损值的10%,推广至实际运行中,大系统的网损值远大于文中算例值,所以文中模型的经济效应会很大。

此外,分析比较2种模型的机组组合和出力,相差也较大,结果如图5、图6所示。

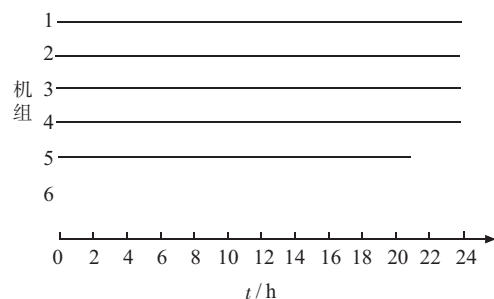


图5 模型1的24时段的机组组合

图5、图6中,实线部分表示机组开机,空白表示机组停机;模型1机组6所有时段均停机,而文中模型中的机组6在23、24时段停机,2种模型启停状态不

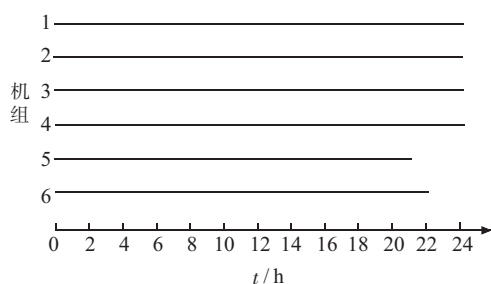


图6 文中模型24时段的机组组合

同,各机组出力也不同。从上述分析可见,2种模型结果相差很大,而文中模型对目标函数修正确保了调度模型结果更加经济。

由于各机组处于网络的不同节点处,上述优化结果可得到不同节点的机组出力变化会导致系统网损和经济成本都发生变化,所以网络资源的不同出力和分布情况均对系统网损和经济性产生一定影响。所以研究可推广至系统各资源的不同分布对系统经济和网损所产生的影响。

## 5 结束语

随着大规模新能源接入,电网调度考虑网损更有必要且越来越难。基于改进直流潮流方法的内嵌网损调度不仅保持了直流潮流计算方式的优越性,不会存在收敛性问题;而且在调度精细度上有了很大的进步。文中模型为一混合整数二次规划模型,优化软件求解较慢或是难以求解,所以基于Benders分解原理来实现内嵌网损的系统机组组合,将该模型分解为混合整数线性规划主问题和无整数变量的二次规划从问题,从而解决了该模型求解问题。此外,新能源的波动性和不确定性导致系统运行状态无法确定,所以依据经验或历史数据来考虑网损的方法误差更大,不再适用于实际运行中。文中提出的精细考虑系统网损方法依据运行状态来考虑网损的影响,更适合于新能源接入的系统,具有推广意义。

### 参考文献:

[1] 杨明,韩学山,梁军,等. 计及网络安全约束及用户停电损失

- 的动态经济调度方法[J]. 电力系统自动化, 2009,33(14):27-31.
- [2] 娄素华,余欣梅,熊信良,等. 电力系统机组启停优化问题的改进DPSO算法[J]. 中国电机工程学报, 2005,25(8):30-35.
- [3] 王海霞,李卫东,陶家琪,等. 东北区域电力市场发电报价网损修正算法[J]. 电网技术, 2005,29(13):73-79.
- [4] 李文沅. 电力系统安全经济运行[M]. 重庆:重庆大学出版社, 1989:37-46.
- [5] 丁洽,王岗,唐然,等. 日发电计划安全校核系统开发与应用[J]. 江苏电机工程, 2013,32(1):9-12.
- [6] SUN D I, MA X W. The Application of Optimization Technology For Electricity Market Operation[C]//2005 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition, Asia and Pacific Dalian, China: 1-6.
- [7] 陈之栩,张粒子,舒隽. 交直流迭代法求解含网损节点边际电价[J]. 电力系统自动化, 2007,31(11):22-25.
- [8] 王楠,张粒子,黄巍,等. 电力系统安全经济调度网损协调优化方法[J]. 电网技术, 2010,34(10):105-108.
- [9] 黄巍,张粒子,王楠,等. 基于动态网损修正的改进交直流迭代算法[J]. 电网技术, 2010,34(6):119-122.
- [10] 张舒,胡泽春,宋永华,等. 基于网损因子迭代的安全约束机组组合算法[J]. 中国电机工程学报, 2012,32(7):76-82.
- [11] ZHONG H W, XIA Q, KANG C Q. Dynamic Economic Dispatch Considering Transmission Losses Using Quadratically Constrained Quadratic Program Method[J]. IEEE Transactions On Power Systems, 2013,28(3):2232-2241.
- [12] 王楠. 发电调度优化模型与方法研究[D]. 北京:华北电力大学, 2011.
- [13] 赵晋泉,叶君玲,邓勇. 直流潮流与交流潮流的对比分析[J]. 电网技术, 2012,36(10):147-152.
- [14] RAY D, ZIMMERMAN C E, SANCHEZ M, et al. MATPOWER[M/OL]. <http://www.pserc.cornell.edu/matpower/>.
- [15] 苏济归,舒隽,谢国辉,等. 大规模机组组合问题计及网络约束的线性化求解方法[J]. 电力系统保护与控制, 2010,38(18):135-139.

### 作者简介:

袁亚云(1990),女,江苏南通人,硕士在读,研究方向为电力系统优化调度;

王磊(1963),女,山西太原人,副教授,主要研究方向为电力系统优化调度。

## Economic Dispatch Considering Transmission Losses Based on a Modified DC Power Flow

YUAN Yayun, WANG Lei

(School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** It's important to explicitly consider transmission losses under the circumstances of large-scale new renewable energy integrated into the power grid. A modified DC power flow method, which is more precise compared with the traditional DC power flow, is proposed. Based on the proposed DC power flow, a new economic dispatch method considering transmission losses is proposed. The proposed method improves power re-dispatch accuracy, as well as keeps the advantage of the convergence of DC power flow. Simulations results on IEEE 30- and 118-bus test systems show that the proposed method is effective.

**Key words:** DC power flow; transmission losses; economic dispatch